

## References

1. Dreus, A. Yu., Sudakov, A. K., Kozhevnikov, A. A., Vakhalin, Yu. N. (2016). "Study on thermal strength reduction of rock formation in the diamond core drilling process using pulse flushing mode", *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu* [in English].
2. A. Dreus, A. Kozhevnikov, A. Sudakov, K. Lysenko. (2016). Investigation of heating of the drilling bits and definition of the energy efficient drilling modes // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies – Vol.3. – No 7 (81). P. 41–46. [in English]. DOI: 10.15587/1729-4061.2016.71995*
3. Filimonenko, N. T., Kozhevnikov, A. A. (2013). Solid phase motion in intermittent vertical flow *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu* [in English].
4. Kozhevnykov, A. A., Khilov, V. S., Borysevych, O. A., Belchitskyi, O. P. (2012). Experimental research of the boring technology with pulsating instrument rotation *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu* [in English].
5. Davidenko A. N., Kamyshatsky A. F., Sudakov A. K. (2015). Innovative technology for preparing washing liquid in the course of drilling /*Sci. and In. N (11)5. P. 5–13 [in English].*
6. Alexandr N. Davidenko, Alexandr F. Kamyshatsky Technology for preparing washing liquid / *AGH DRILLING, OIL, GAS, Vol. 33, N 4, 2016. P. 693 – 697 [in English].*
7. Pilipenko V.V. (1989). *Kavitatsionnyie avtokolebaniia [Cavitation self-oscillations].* Kiev, Nauk. dumka, – 316 s. [in Russian].
8. Davidenko, O. M., & Kamishatskiy, O. F. (2016). Obgruntuvannia chastotnogo spektru roboty pristroiu dlia obrobky promyvalnykh ridyn pry burinni sverdlovyn [Justification of the frequency spectrum of the device for the treatment of washing liquids during drilling wells] // *Porodorazrushaiushchii i metalloobrabatyvaiushchii instrument – tehnologiia ego izgotovleniia i primeneniia: sbornik nauchnykh trudov – Rock-cutting and metal-cutter instrument - technical and technology of its manufacture and application: collection of scientific paper, 19, 104-107 [in Ukrainian]*
9. Davidenko, A. N., & Kamyishatskiy, A. F. (2015). Sovershenstvovanie konstruksii kavitatsionnogo generatora [Perfection of the construction of a cavitation generator] // *Porodorazrushayuschiy i metalloobrabatyivayuschiy instrument-tehnika i tehnologiya ego izgotovleniia i primeneniia [Pore-breaking and metal-working tools-technology and technology of its manufacture and application]. 18. – S. 113–114 [in Russian].*

УДК 622.24

DOI: 10.33839/2223-3938-2018-21-1-132-139

**А. О. Ігнатов**, канд. техн. наук

*Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», пр. Дмитра Яворницького,  
19, 49027, м. Дніпро, Україна, e-mail: A\_3000@i.ua*

## **Перспективи застосування гнучкої колони бурильних труб для буріння свердловин**

*Методами конструкторського аналізу і за допомогою теоретичних прийомів досліджень встановлено основоположні принципи роботи забійного пристрою створення осьового навантаження на породоруйнівний інструмент.*

*Проаналізовано базові конструкції забійних пристроїв подачі долота. У результаті проведення конструкторського і теоретичного аналізу встановлено основні принципи роботи як окремих вузлів забійного пристрою створення осьового навантаження, так і його загалом. Розглянуто особливості перебігу циркуляційних процесів під час роботи проектного пристрою.*

*Аналитично доведено можливість застосування розробленого пристрою у поєднанні з колоною гнучких бурильних труб. Показано перспективні можливості використання забійних механізмів створення осьового навантаження на породоруйнівний інструмент. Доведено необхідність розширення сфери застосування колони гнучких бурильних труб.*

*Розширенню сфери застосування колони гнучких труб, зокрема на бурових роботах, сприятиме розробка і впровадження забійних пристроїв створення осьового навантаження на породоруйнівний інструмент, одна з базових конструкцій яких розглядається у цій статті.*

*Розроблений пристрій є ефективним механізмом створення осьового навантаження на породоруйнівний інструмент, який дає змогу розширити можливості використання колони гнучких труб в бурових роботах. Конструктивні рішення, закладені в основу механізму функціонування пристрою, є базовими для подальших розробок у сфері проектування забійних компоновок створення осьового навантаження.*

**Ключові слова:** *колона гнучких бурильних труб, осьове навантаження, забійний пристрій, циркуляційні процеси, промивальна рідина.*

### **Постановка проблеми**

Одним із головних шляхів підвищення продуктивності бурових робіт є скорочення витрат часу на виконання спуско-підіймальних операцій із буровим інструментом, які, як відомо, в загальному балансі витрат часу на буріння досягають 30% і більше [1]. Істотно нові перспективи для вирішення вказаної проблеми відкриває широке впровадження в практику бурових робіт знімного породоруйнівного інструменту та безперервної колони бурильних труб [2].

### **Аналіз останніх досліджень і публікацій**

Аналіз виробничих та літературних даних дає змогу зробити висновок, що на сучасному етапі впровадження технології буріння із застосуванням колони гнучких труб в основному зводиться до буріння ділянок похило-скерованих свердловин та горизонтальних відводів від основного стовбура свердловини та обмежується довжиною у 300-400 м [3]. Найактивніші роботи з впровадження колони гнучких труб в галузь бурових робіт проводяться дослідниками та виробничниками США та Канади [4].

### **Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми**

Обмеження щодо застосування колони гнучких труб спричинені низькою ефективністю буріння із використанням шарошкових доліт – це пов'язано насамперед із невеликими значеннями осьового навантаження, які реалізуються на забої свердловини, та значними частотами обертання [5].

Практика бурових робіт із застосуванням колони гнучких труб довела, що найбільш сприятливі умови руйнування порід створюються під час застосування гвинтових двигунів та доліт, що стирають породу [5].

Патентні дослідження засвідчують, що переважна більшість як вітчизняних, так і закордонних розробок в галузі забійних приладів створення осьового навантаження на породоруйнівний інструмент (поширене також визначення «прилади подавання долота або інструменту») стосується лише традиційної технології буріння – тобто з використанням сталевих колони бурильних труб. І лише незначна кількість патентів стосується розробок, пов'язаних із можливістю реалізації забійних схем подавання інструменту для колони гнучких труб.

**Мета статті** – висвітлення принципів проектування пристроїв створення осьового навантаження на породоруйнівний інструмент із застосуванням гнучкої колони бурильних труб для спорудження свердловин.

### Обґрунтування вживання і опис вибраної автором методики

Враховуючи особливості експлуатації колони гнучких труб, які визначаються передусім технологією виготовлення – формування труб методом зварювання сталевих стрічки, достатньо високими показниками герметичності каналу гнучких труб, шляхом створення забійних механізмів подавання передбачається розробка саме гідравлічних агрегатів із тією або іншою конструктивною схемою використання гідравлічної енергії потоку бурової рідини, яка використовується для приводу забійного двигуна.

### Виклад основного матеріалу дослідження

Основне завдання створення пристрою подавання долота – удосконалення пристрою [6], в якому принципово інше конструктивне та технологічне виконання робочих органів забезпечує: створення умов для отримання потрібних величин осьового навантаження під час проходження порід середнього та високого ступеня міцності, можливість його ефективного використання як у разі застосування стандартних бурильних труб, так і безперервної бурильної колони під час спорудження та ремонту свердловини, стабільність та ефективність акту руйнування порід, значне збільшення рейсової швидкості буріння, зниження зносу бурильних труб; за рахунок вказаного досягається інтенсифікація процесу будівництва свердловини за умови зниження загальних витрат.

На рис. 1 зображено загальну схему пристрою для створення осьового навантаження, де 1 – роз'ємний в горизонтальній та вертикальній площинах корпус, який за допомогою верхнього переходника (2) сполучений з бурильною колоною. Нижній переходник (3) зв'язаний з корпусом (1) монтажною гайкою (33) із забійним двигуном.

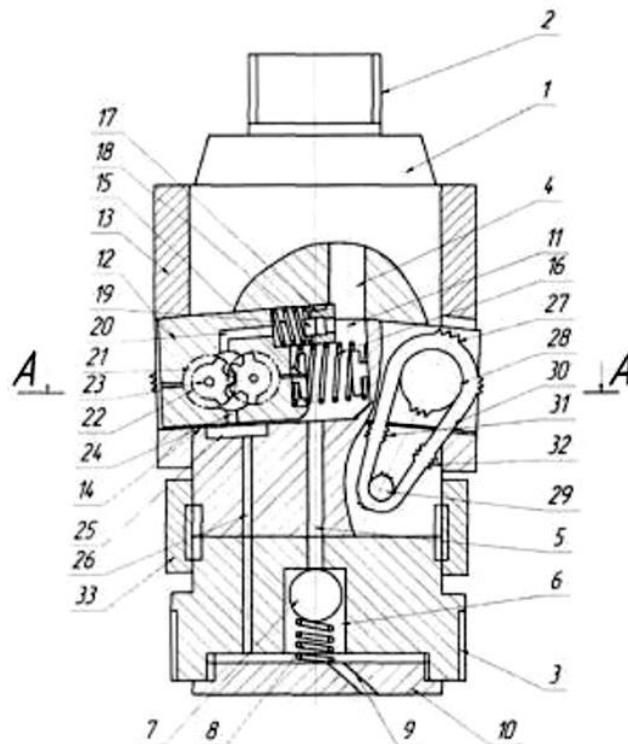


Рис. 1. Загальна схема пристрою для створення осьового навантаження

У кожній із верхніх та нижніх частин роз'ємного корпусу (1) пристрою, сполучених за допомогою втулки (13), виконано центральні (4) і циркуляційні (5) канали, обладнані дроселями (6), які складаються з кульового клапана (7) і пружини розтягування (8). Пристрій встановлено на основі, виконаній у вигляді фланцевої кришки (10), канал якої (9)

призначений для подавання промивальної рідини до забійного двигуна. В кожній з робочих камер (11), розташованих з протилежних боків роз'ємного корпусу (1), розміщено шліцьовий повзун (12), оснащений поворотною пружиною (16), замковим елементом дросельного типу (15) і переливним дроселем (17), що складається з тарілчастого запірного елемента (18), пружини (19). Переливний дросель (17) за допомогою циркуляційного каналу (20) з'єднаний з гідравлічним руховим блоком (21), який має пару зубчастих коліс (22) та через систему каналів (24, 25, 26) сполучається з фланцевою кришкою (10). Приводні вали (23) передають виниклий крутний момент упорним ланцюговим контактним механізмам (27), що складаються з великих (28) і малих (29) зірочок, кінематично сполучених інструментальними ланцюгами (30), на внутрішньому контурі яких розміщені робочі зубки (31), а на зовнішньому – врубкові зубки (32).

На рис. 2 наведено переріз пристрою для створення осьового навантаження за А-А, де 12 – шліцьові повзунки, 15 – замкові елементи дросельного типу, 16 – поворотні пружини, 22 – пари зубчастих коліс, 23 – приводні вали, 28 – великі зірочки, 30 – інструментальні ланцюги, 32 – врубкові зубки.

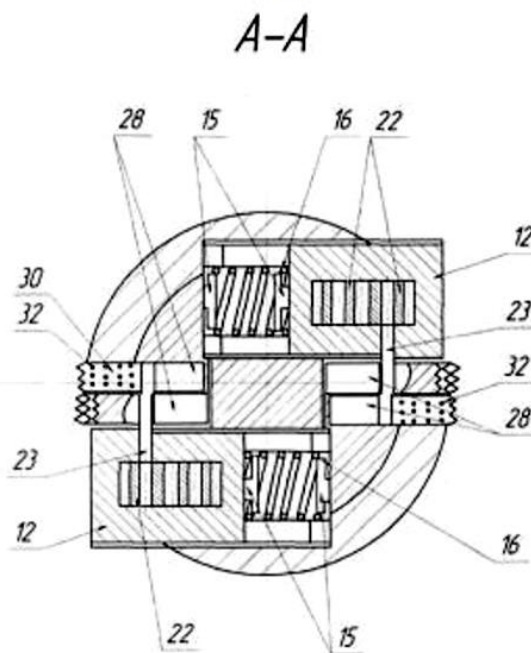


Рис. 2. Розріз за площиною А – А робочої частини пристрою для створення осьового навантаження

Пристрій працює так: включений до складу бурового снаряда пристрій спускають на забій свердловини; за допомогою верхнього перехідника (2) його роз'ємний корпус 1 сполучається з бурильною колоною, а нижнього перехідника (3) – із вибійним двигуном. Після досягнення буровим снарядом забою свердловини і подальшої його постановки – подача промивальної рідини; за її мінімального значення потік у повному об'ємі прямує через центральні (4) і циркуляційні (5) канали, виконані в роз'ємному корпусі (1) пристрою, а далі через дроселі (6), що складаються з кульового клапана (7) і пружини розтягування (8). Виходячи з них, він за допомогою каналу (9), фланцевої кришки (10) прямує до забійного двигуна.

Для безпосереднього включення в активну безперервну роботу самого пристрою подавання інструмента за руйнування порід середнього та високого ступеня міцності із використанням стандартної, а особливо гнучкої бурильної колони, необхідно підвищити

витрату промивальної рідини, що проходить через канали (4) роз'ємного корпусу (1). У зв'язку з тим, що пропускна здатність дроселя (6) обмежена розмірами кульового клапана (7) і жорсткістю пружини (8) та узгоджена із роботою шліцьових повзунків (12), створюється раціональне значення тиску в робочій камері (11) шліцьових повзунків (12).

За таких умов шліцьові повзунки (12) висуваються за контури сполучної втулки (13) роз'ємного корпусу (1), які переміщуються в похилих гніздах (14). Тиск, що створюється в робочій камері (11), сприяє переміщенню шліцьових повзунків (12) і долає опір поворотних пружин (16) замкових елементів дросельного типу (15) – забезпечується контактною площею поверхні їхнього зіткнення з рідиною високого тиску.

Крім того, відбувається спрацьовування переливного дроселя (17), що складається з тарілчастого замкового елемента (18) і пружини (19); при цьому промивальна рідина за допомогою циркуляційних каналів (20), виконаних у шліцьових повзунках (12), прямує в гідравлічні рухові блоки (21). У кожному із цих блоків відбувається перетворення гідравлічної енергії потоку промивальної рідини в обертальний рух приводних валів (23) за допомогою пари зубчастих коліс (22).

Після проходження промивальною рідиною зубчастих коліс (22) її потік за допомогою системи каналів (24, 25 і 26), наявних в роз'ємному корпусі (1) пристрою і нижньому перехіднику (3), з'єднуючись з основним потоком, слідує через фланцеву кришку (10) до забійного двигуна. Радіальне переміщення шліцьових повзунків (12) до стінок свердловини є необхідною умовою роботи пристрою.

Крім того, крутний момент, що виникає на приводних валах (23), залучає до обертання упорні ланцюгові контактні механізми (27), що складаються з великих (28) і малих (29) зірочок, кінематично сполучених інструментальними ланцюгами (30), на внутрішньому контурі яких розміщено робочі зубки (31), які запобігають прослизанню ланцюгів між зірочками, а на зовнішній – врубіві зубки (32), необхідні для розкріплення корпусу (1) пристрою в стовбурі свердловини та його переміщення її стінками за умови поглиблення забою.

За кутового вторгнення врубівих зубків (32) упорного ланцюгового контактного механізму (27) в стінки свердловини відбувається повне унеможливлення осьового переміщення пристрою у бік, протилежний до напрямку просування забою. Це створює умови, що сприяють безпосередньому руху інструментальних ланцюгів (30) стінками свердловини, за умови дотримання на породоруйнівному інструменті необхідного осьового навантаження, необхідною для її поглиблення мірою.

Конструкція пристрою дає змогу регулювати величини осьового навантаження і швидкість переміщення роз'ємного корпусу (1) пристрою в автономному режимі за рахунок зміни подачі промивальної рідини буровим насосом залежно від ступеня міцності порід, що руйнуються.

Крім того, передбачена можливість оперативного поточного або капітального ремонту пристрою. Це можливо за рахунок від'єднання фланцевої кришки (10) від нижнього перехідника (3), перехідника від корпусу (1) за допомогою відгвинчування монтажної гайки (33) і нарешті розбирання роз'ємного корпусу (1) за рахунок випресовування сполучної втулки (13). Це значно спрощує монтажні-демонтажні роботи або заміну окремих елементів пристрою. Наявність контактної механізму (28) інструментальних ланцюгів (30) забезпечує значний ресурс роботи пристрою без підйому його на поверхню.

Аналітичні розрахунки доводять, що у разі застосування забійних гвинтових двигунів, гідравлічні показники, які реалізуються на забої свердловини з їхньою допомогою, є цілком прийнятними для задовільної роботи пристрою зі створення осьового навантаження.

Габаритні розміри самих двигунів (табл. 1) та відповідно свердловини вносять деякі корективи до конструктивної схеми виконання забійного пристрою, але загалом вона відповідає умовам роботи.

Таблиця 1. Технічні параметри забійних гвинтових двигунів

Тип двигуна	Д1-54	ДГ-60	Д-85
Зовнішній діаметр, мм	54	60	85
Діаметр долота, мм	до 76	до 98,4	до 120,6
Витрата рідини, л/с	до 2,5	до 3,5	до 4,5
Перепад тиску, МПа.	до 5,5		

Розрахунки міцності колони гнучких бурильних труб мають базуватися на визначенні напружень, зумовлених дією тиску циркулюючої рідини. Напруження, що при цьому виникають, поділяються на тангенціальні:

$$P_T = P_P R / h$$

та меридіональні:

$$P_M = P_P R / 2h,$$

де  $P_P$  – тиск циркулюючої рідини, МПа;  $R$  – радіус серединної поверхні труби, м;  $h$  – товщина стінки труби, м.

Наведені формули є базовими в методиці визначення вихідних гідравлічних параметрів пристрою для створення осьового навантаження.

### Висновки з цього дослідження і перспективи подальших досліджень

1. В результаті проведення аналітичного огляду, конструкторського і теоретичного аналізу встановлено основні вимоги до забійного пристрою створення осьового навантаження та обґрунтовано принцип роботи окремих вузлів пристрою, пристрою загалом.

2. Розглянуто особливості перебігу циркуляційних процесів під час роботи окремих гідравлічних вузлів проектного пристрою та аналітично доведено можливість застосування розробленого пристрою разом з колоною гнучких бурильних труб.

3. Показано перспективні напрямки вдосконалення забійних механізмів створення осьового навантаження на породоруйнівний інструмент, які можна використовувати в подальших дослідженнях пошуку та створення ефективних пристроїв подавання доліт з використанням як стандартної, так і гнучкої колони бурильних труб.

*Методами конструкторського аналізу і теоретичними прийомами досліджень встановлені основопологаючі принципи роботи забійного пристрою створення осьової навантаження на породоразрушаючий інструмент.*

*Проаналізовані базові конструкції забійних пристроїв подачі долота. В результаті проведення конструкторського і теоретичного аналізу встановлені основні принципи роботи окремих вузлів забійного пристрою створення осьової навантаження, та і його в цілому. Розглянуті особливості протікання циркуляційних процесів при роботі проектуваного пристрою. Аналітично доведено можливість застосування розробленого пристрою разом з колоною гнучких бурильних труб. Показано перспективні напрямки вдосконалення забійних механізмів створення осьової навантаження на породоразрушаючий інструмент. Доказано необхідність розширення області застосування колони гнучких бурильних труб.*

*Розширенню області застосування колони гнучких труб, і в частині при бурових роботах, буде сприяти будівництво і впровадження забійних пристроїв створення осьової навантаження на*

породоразрушающий инструмент, одна из базовых конструкций которых рассматривается в данной статье.

Разработанное устройство является эффективным механизмом создания осевой нагрузки на породоразрушающий инструмент и позволяет расширить возможности использования колонны гибких труб в буровых работах. Конструктивные решения, заложенные в основу механизма функционирования устройства, выступают базовыми для дальнейших разработок в области проектирования забойных компоновок создания осевой нагрузки.

**Ключевые слова:** колонна гибких буровых труб, осевая нагрузка, забойное устройство, циркуляционные процессы, промывочная жидкость.

**A. O. Ihnatov**

### **Perspectives application of coiled tubing in bore holes**

*The methods of designer analysis and theoretical reception researches are set fundamental principles of work backwall device creation of axleloading on a boring instrument.*

*The base constructions of backwall devices serve of chisel are analysed. As a result of leadthrough designer and theoretical analysis basic principles of work are set as separate knots of backwall device creation axleloading, that and it on the whole. The features flowing of circulation processes are considered during work of the designed device. The mechanism flowing of chemical corrosion pipes, stipulating gradual oxidization of metal is studied. Possibility of application the developed device is analytically well-proven in combination with the coiled tubing. Perspective possibilities of the use backwall mechanisms creation of axleloading are rotined on a boring instrument. The necessity expansion of application column of coiled tubing domain is well-proven.*

*To expansion application of coiled tubing domain, and in particular at borings works, creation and introduction of backwall devices creation of axleloading will promote on a boring instrument, one of base constructions of which is examined in this article.*

*The developed device is the effective mechanism of creation of axleloading on a boring instrument and allows to extend possibilities the use of coiled tubing in borings works. Structural decisions stopped up in basis of mechanism of functioning device come forward base for further developments in area of planning backwall arrangements of creation of axleloading.*

**Key words:** coiled tubing, axleloading, backwall device, circulation processes, washings liquids.

### **Література**

1. Разведочное бурение / А. Г. Калинин, О. В. Ошкордин, В. М. Питерский и др. – М.: Недра–Бизнесцентр, 2000. – 748 с.
2. Давиденко А. Н., Игнатов А. А. Абразивно-механическое ударное бурение скважин. – Днепропетровськ: Держ. вищ. навч. закл. «Нац. гірн. ун-т», 2013. – 110 с.
3. Подземный ремонт и бурение скважин с применением гибких труб / С. М. Вайншток, А. Г. Молчанов, В. И. Некрасов и др. – М.: Изд-во Академии горн. наук, 1999. – 224 с.
4. Gary S. C. Coiled tubing drilling requires economic and technical analyses // Oil and Gas Journal. – 1995. – 93. – N 8. – P. 59–62.
5. Large diameter tubing drilling // Petroleum technology. – 1997. – 49. – N 2. – P. 135–136.
6. Патент на винахід № 114966 Україна МПК E21B 19/08 (2006.01). Пристрій для створення осьового навантаження / А. О. Ігнатов. – Опубл. 10.05.17, Бюл. № 9.

### **References**

1. Kalinin, A. G., Oshkordin, O. V., Piteriskij V. M. et al. (2000). *Razvedochnoe burenie [Prospecting boring drilling]*. Moscow: Nedra – Biznescentr [in Russian].
2. Davidenko, A. N., & Ihnatov, A. A. (2013). *Abrazivno-mekhanicheskoe udarnoe burenie skvazhin [Abrasive-mechanical blowing well-drilling]*. Dnipropetrovsk: NMU [in Russian].

3. Vajnshtok, S. M., Molchanov, A. G., Nekrasov, V. I. et al. (1999). *Podzemnyj remont i burenie skvazhin s primeneniem gibkih trub [Underground repair and well-drilling with the use of coiled tubing]*. Moscow: Academy of mining sciences [in Russian].
4. Gary, S. C. (1995). Coiled tubing drilling requires economic and technical analyses. *Oil and Gas Journal*, Vol. 93, 8, 59 – 62.
5. Large diameter tubing drilling (1997). *Oil and Gas Journal*, Vol. 49, 2, 135 – 136.
6. Ihnatov, A. O. (2017). Patent of Ukraine 114966.

УДК 622.24

DOI: 10.33839/2223-3938-2018-21-1-139-150

**Гасанов Р. А., Рамазанов Ф. Х.**

*Государственная Нефтяная Компания Азербайджанской Республики*

### **Разработка теоретико-расчетной технологии для оценки устойчивости пород ствола горизонтальной скважины**

*В настоящей работе дан анализ причин нарушения устойчивости пород ствола горизонтального участка скважин. С этой целью разработана механическая и математическая модели нагружения пород пристволевой зоны горизонтального участка ствола. Для единственности решения в математическую модель рассматриваемой задачи включены уравнения движения, физические соотношения и уравнения совместности деформаций, а краевые условия определены с учетом нагрузок согласно механической модели деформационного поведения. Математическая модель задачи деформационного поведения пород пристволевой зоны решена конечно-разностным методом, для чего разработана специальная расчетная процедура. На основе полученных решений дана оценка повреждаемости пород пристволевой зоны горизонтального ствола при различных модификациях нагружения.*

**Ключевые слова:** горизонтальная скважина, ствол, породы, устойчивость, деформационное поведение, факторы

Анализ результатов многочисленных реализаций процессов производства буровых работ свидетельствует о том, что основной причиной разрушения целостности стволов скважин является стимулирование предельного напряженно-деформационного состояния в пристволевой зоне содержанием технологических регламентов.

Для оценки и изучения причин возникновения предельных состояний пристволевой зоны на различных участках ствола скважины необходимым является исследование напряженно-деформированного состояния окружающего массива пород. Особенно актуальными и значимыми эти исследования являются для горизонтального участка наклонно-направленных скважин. Объясняется это тем, что нарушение целостности стенок ствола горизонтального участка скважин имеет последствия, ликвидация которых сопровождается определенными осложнениями, а иногда и безрезультатны.

Для исследования напряженно-деформированного состояния пород пристволевой зоны горизонтального участка ствола наклонно-направленной скважины его механическая модель представлена способной повреждаться, изотропной бесконечной полуплоскостью, имеющей закрепленную по окружности пустоту в виде отверстия. Предполагается, что для рассматриваемой среды удовлетворяются условия, соответствующие для плоского деформационного поведения. В этом случае пристволевая зона горизонтального участка ствола будет соответствовать его вышеописанной